



(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

Offenlegungsschrift

DE 100 25 176 A 1

(51) Int. Cl.⁷:
C 03 B 37/023
C 03 B 37/012
G 02 B 6/00

DE 100 25 176 A 1

(21) Aktenzeichen: 100 25 176.5
(22) Anmeldetag: 24. 5. 2000
(43) Offenlegungstag: 6. 12. 2001

(71) Anmelder:
Heraeus Quarzglas GmbH & Co. KG, 63450 Hanau,
DE

(74) Vertreter:
Patentanwälte Grimm & Staudt, 63075 Offenbach

(72) Erfinder:
Fabian, Heinz, 63762 Großostheim, DE

(56) Entgegenhaltungen:
DE 199 15 509 A1
DE 198 52 704 A1
DE 197 51 919 A1
DE 197 36 949 A1
DE 197 25 955 A1
DE 196 49 935 A1
DE 196 29 170 A1
DE 196 29 169 A1
DE 196 28 958 A1

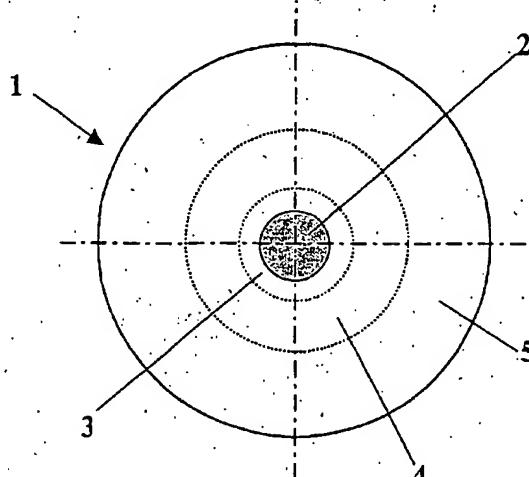
DE 196 27 945 A1
DE 195 01 733 A1
US 57 90 736 A
US 58 38 866
US 57 88 730
US 57 85 729
US 57 38 702
US 56 65 132
US 56 43 069
EP 10 00 908 A2
EP 07 67 149 A1
EP 07 67 147 A1
EP 05 82 070 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Verfahren für die Herstellung einer optischen Faser und Vorform für eine optische Faser

(57) Bei einem bekannten Verfahren für die Herstellung einer optischen Faser durch Ziehen aus einer Kern-Mantelstruktur aufweisenden Vorform oder aus einer Kern-Mantelstruktur bildenden koaxialen Anordnung mehrerer Bauteile, wird ein Kernzyylinder in einem Soot-Abscheideverfahren erzeugt, wobei der Kernzyylinder eine Kernglasschicht mit einem höheren Brechungsindex "n_K" und einem Außendurchmesser "d_K" aufweist, die von einer ersten Mantelglasschicht mit einem niedrigeren Brechungsindex "n_{M1}" und einem Außendurchmesser "d_{M1}" umgeben ist, und auf den Kernzyylinder eine zweite Mantelglasschicht aufgebracht. Die erfindungsgemäße Modifikation dieses Verfahrens zeichnet sich durch geringere Herstellungskosten für die optische Faser aus. Dies wird erreicht, indem die zweite Mantelglasschicht (4) in Form eines in einem separaten Verfahrensschritt erzeugten Mantelrohrs bereitgestellt wird, das einen mittleren OH-Gehalt von maximal 1 Gew.-ppm aufweist, wobei das Aufbringen der zweiten Mantelglasschicht (4) durch Aufkollabieren des Mantelrohrs auf den Kernzyylinder (2; 3) erfolgt, und indem ein Kernzyylinder (2; 3) eingesetzt wird, bei dem das Verhältnis von "d_{M1}" zu "d_K" zwischen 1 und 2,2 liegt, und der in einem oberflächennahmen Bereich bis zu 10 µm Tiefe einen mittleren OH-Gehalt von maximal 1 Gew.-ppm aufweist.



E 100 25 176 A 1

BEST AVAILABLE COPY

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren für die Herstellung einer optischen Faser durch Ziehen aus einer Kern-Mantelstruktur aufweisenden Vorform oder aus einer eine Kern-Mantelstruktur bildenden koaxialen Anordnung mehrerer Bauteile, durch Erzeugen eines Kernzylinders in einem Soot-Abscheideverfahren, wobei der Kernzylinder eine Kernglasschicht mit einem höheren Brechungsindex " n_K " und einem Außendurchmesser " d_K " aufweist, die von einer ersten Mantelglasschicht mit einem niedrigeren Brechungsindex " n_{M1} " und einem Außendurchmesser " d_{M1} " umgeben ist, und Aufbringen einer zweiten Mantelglasschicht auf den Kernzylinder.

[0002] Weiterhin betrifft die Erfindung eine Vorform für die Herstellung einer optischen Faser, die eine Kernglasschicht mit höherem Brechungsindex " n_K " und mit einem Außendurchmesser " d_K " aufweist, die koaxial von einer ersten Mantelglasschicht mit niedrigerem Brechungsindex " n_{M1} " und mit einem Außendurchmesser " d_{M1} " sowie von einer zweiten Mantelglasschicht umgeben ist.

[0003] Der Einsatz von Lichtleitfasern zur Datenübertragung hat in den letzten 20 Jahren an wirtschaftlicher Bedeutung gewonnen. Nachdem die Lichtleitfasern zunächst hinsichtlich ihrer optischen Dämpfung und der Faserfestigkeit verbessert wurden, ist nunmehr die Kostensenkung zentrales Thema. Mögliche Ansatzpunkte hierfür sind die Erhöhung der Übertragungskapazität pro Lichtleitfaser und die Senkung der Herstellkosten der Lichtleitfasern. Die Herstellung von sogenannten Single-Mode-Lichtleitfaser-Vorformen für kommerzielle Anwendungen erfolgt im wesentlichen nach den bekannten OVD-(Outside-Vapor-Deposition), MCVD-(Modified-Chemical-Vapor-Deposition, PCVD-(Plasma-Chemical-Vapor-Deposition) und VAD-(Vapor-Axial-Deposition)-Verfahren. Allen Verfahren ist gemein, daß zunächst ein Kernzylinder hergestellt wird, der den Kern und einen Teil des Mantels der späteren Single-Mode-Lichtleitfaser umfasst. Auf den Kernzylinder wird weiteres Quarzglas aufgebracht, das als "Jacketmaterial" bezeichnet wird. Die Qualität dieses Jacketmaterials ist für die mechanische Festigkeit der Lichtleitfaser von Bedeutung, während der Einfluß auf die optischen Eigenschaften bisher nur eine untergeordnete Rolle spielt.

[0004] Ein Verfahren und eine Vorform der eingangs angegebenen Gattung sind aus der US-A 5,838,866 bekannt. Darin ist die Herstellung einer Quarzglas-Vorform für eine Single-Mode-Lichtleitfaser beschrieben, wobei in einem ersten Verfahrensschritt ein als "Kern-Vorform" bezeichnetes Bauteil mit Kern-Mantelstruktur nach dem sogenannten OVD-Verfahren hergestellt wird. Die Kern-Vorform besteht aus einer mit Germaniumdioxid dotierten SiO_2 -Kernschicht, die von einer inneren SiO_2 -Mantelglasschicht umhüllt ist. Die jeweiligen Schichtdicken sind so ausgelegt, dass nach dem Kollabieren der Innenbohrung das Verhältnis des Durchmessers " d_K " der Kernschicht und des Außendurchmessers der ersten Mantelglasschicht " d_{M1} " bei 2,39 liegt. Durch Abscheiden einer weiteren SiO_2 -Sootschicht zur Bildung einer zweiten, äußeren Mantelglasschicht wird die endgültige Vorform erhalten.

[0005] Der der Kern-Vorform zugeordnete und an die Kernschicht unmittelbar angrenzende Teil des Mantels wird im folgenden als "erste Mantelglasschicht" bezeichnet. Die erste Mantelglasschicht trägt wesentlich zur Lichtführung bei und hat daher einen deutlichen Einfluss auf die optischen Eigenschaften des Lichtleiters. An die erste Mantelglasschicht sind deshalb hinsichtlich Reinheit und Homogenität vergleichbare Maßstäbe anzulegen wie bei der Kernschicht, so dass die Herstellung der ersten Mantelglas-

schicht auch dementsprechend aufwendig ist.

[0006] Bei dem bekannten Verfahren wird für die Abscheidung der SiO_2 -Sootschicht zur Bildung der zweiten Mantelglasschicht auf dem Kernzylinder ein Knallgasbrenner eingesetzt. Dadurch kommt es zu einem Einbau von OH-Gruppen in die erste Mantelglasschicht. Diese OH-Gruppen sind im Quarzglas der ersten Mantelglasschicht fest gebunden und lassen sich durch die anschließende Behandlung der Soot-Schicht in chlorhaltiger Atmosphäre nicht entfernen. Die nach dem bekannten Verfahren hergestellte Vorform zeigt daher im Bereich der Grenzfläche zwischen erster und zweiter Mantelglasschicht üblicherweise eine deutlich erhöhte OH-Konzentration.

[0007] Einen typischen Verlauf der OH-Konzentration über den Durchmesser einer nach dem bekannten OVD-Verfahren hergestellten Vorform ist in Fig. 3 schematisch dargestellt. Auf der y-Achse des Diagramms ist der OH-Gehalt und auf der x-Achse der Vorformdurchmesser aufgetragen. Die Kernglasschicht 31 und der innere Bereich der ersten Mantelglasschicht 32 zeigen einen geringen OH-Gehalt. Der Bereich um die Grenzfläche 35 zwischen der ersten Mantelglasschicht 32 und der zweiten Mantelglasschicht 33 ist durch ein Maximum 34 der OH-Konzentration deutlich erkennbar.

[0008] OH-Gruppen zeigen im infraroten Spektralbereich eine besonders starke Absorptionsbande. Bereits geringe OH-Gehalte im lichtführenden Bereich einer Single-Mode-Faser können sich daher auf deren optische Dämpfung bei den üblichen Übertragungswellenlängen auswirken. Um den Einfluß des in Fig. 3 gezeigten Maximums 34 der OH-Konzentration auf die optische Dämpfung gering zu halten, liegt bei den bekannten OVD-Vorformen die Grenzfläche 35 zwischen der ersten Mantelglasschicht 32 und der zweiten Mantelglasschicht 33 weitab von der Kernglasschicht 31. Mit anderen Worten, der Außendurchmesser " d_{M1} " der ersten Mantelglasschicht 32 ist relativ groß; bei der Vorform gemäß Fig. 3 beträgt der Außendurchmesser " d_{M1} " der ersten Mantelglasschicht 32 das 2,39-fache des Durchmessers " d_K " der Kernglasschicht 31.

[0009] Eine Verringerung des Außendurchmessers " d_{M1} " der ersten Mantelglasschicht 32 würde das Maximum 34 der OH-Konzentration näher an die Kernglasschicht 31 heranbringen und sich daher stärker auf die Dämpfung der Faser auswirken. Es ist daher bei dem bisherigen Verfahren nicht möglich, den Anteil der aufwendig herzustellenden, inneren Mantelglasschicht 32 an der Vorform ohne Inkaufnahme einer höheren optischen Dämpfung zu verringern.

[0010] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein kostengünstiges Verfahren für die Herstellung einer optischen Faser mit geringer optischer Dämpfung anzugeben und eine entsprechende Vorform bereitzustellen.

[0011] Hinsichtlich des Verfahrens wird diese Aufgabe ausgehend von dem eingangs genannten Verfahren erfundungsgemäß dadurch gelöst, dass die zweite Mantelglasschicht in Form eines in einem separaten Verfahrensschritt erzeugten Mantelrohrs bereitgestellt wird, das einen mittleren OH-Gehalt von maximal 1 Gew.-ppm aufweist, wobei das Aufbringen der zweiten Mantelglasschicht durch Aufkollabieren des Mantelrohrs auf den Kernzylinder erfolgt, und dass ein Kernzylinder eingesetzt wird, bei dem das Verhältnis von " d_{M1} " zu " d_K " zwischen 1 und 2,2 liegt, und der in einem oberflächennahen Bereich bis zu 10 μm Tiefe einen mittleren OH-Gehalt von maximal 1 Gew.-ppm aufweist.

[0012] Erfundungsgemäß wird die zweite Mantelglasschicht in Form eines in einem separaten Verfahrensschritt erzeugten Mantelrohrs bereitgestellt. Ein derartiges Mantelrohr ist nach den üblichen OVD-Sootabscheideverfahren durch Flammenhydrolyse einer siliziumhaltigen Ausgangs-

verbindung kostengünstig herstellbar. Der OH-Gehalt des Soot-Mantelrohres lässt sich durch die bekannten Dehydratisationsverfahren reduzieren und auf einen vorgegebenen Wert von 1 Gew.-ppm oder weniger einstellen. Je niedriger der mittlere OH-Gehalt des Mantelrohres – insbesondere im Bereich von dessen Innenbohrung – ist, umso geringer ist der durch Hydroxylgruppen (OH-Gruppen) verursachte Dämpfungsanteil. Üblicherweise ist der OH-Gehalt über die Wandung des Mantelrohres konstant, so dass sich aus dem konstanten Wert der mittlere OH-Gehalt unmittelbar ergibt. Bei einem davon abweichenden Verlauf wird der über die Mantelrohr-Wandung gemittelte OH-Gehalt als mittlerer OH-Gehalt definiert. Der mittlere OH-Gehalt lässt sich besonders einfach durch eine spektroskopische Messung durch die Rohrwand ermitteln.

[0013] Das Aufbringen der zweiten Mantelglasschicht erfolgt durch Aufkollabieren des Mantelrohres auf den Kernzylinder. Eine Beaufschlagung der ersten Mantelglasschicht mit einem wasserstoffhaltigen Gas und der damit einhergehende Einbau von Hydroxylgruppen im Quarzglas der ersten Mantelglasschicht wird so vermieden. Durch das Aufkollabieren des Mantelrohres werden keine oder allenfalls geringe Mengen an Hydroxylgruppen erzeugt.

[0014] Der erfindungsgemäß einzusetzende Kernzylinder kann als Stab oder als Rohr vorliegen. Der Einfachheit halber beziehen sich die folgenden Erläuterungen auf einen stabförmigen Kernzylinder, wobei davon ein rohrförmiger Kernzylinder nicht ausgeschlossen sein soll, sofern dies nicht ausdrücklich erwähnt ist.

[0015] Die erste Mantelglasschicht des Kernzylinders weist in einem oberflächennahen Bereich bis zu 10 µm Tiefe einen mittleren OH-Gehalt von maximal 1 Gew.-ppm auf. Dadurch, dass die zweite Mantelglasschicht durch Aufkollabieren des Mantelrohres erfolgt, wird der OH-Gehalt der ersten Mantelglasschicht nicht oder nur unwesentlich beeinflusst. Der mittlere OH-Gehalt in einem oberflächennahen Bereich von 10 µm Tiefe lässt sich spektroskopisch durch eine Differenzmessung ermitteln.

[0016] Zur Lösung der oben genannten technischen Aufgabe trägt wesentlich bei, dass ein Kernzylinder eingesetzt wird, bei dem das Durchmesserverhältnis "d_{M1}" / "d_K" zwischen 1 und 2, 2 liegt. Der Außendurchmesser der ersten Mantelglasschicht "d_{M1}" beträgt somit weniger als das 2,2-fache des Durchmessers der Kernglasschicht "d_K". Das Durchmesserverhältnis "d_{M1}" / "d_K" bezieht sich auf einen Kernzylinder ohne Innenbohrung. Bei einem rohrförmigen Kernzylinder sind die Durchmesser der jeweiligen Schichten nach dem Kollabieren der Innenbohrung maßgebend.

[0017] Im Vergleich zu der eingangs beschriebenen, bekannten optischen Faser ist der Volumenanteil der aufwendig herzustellenden ersten Mantelglasschicht zu Gunsten des übrigen, weitaus kostengünstiger herstellbaren Mantelmaterials reduziert. Diese Reduzierung wird erst durch die Kombination der oben erläuterten Maßnahmen ermöglicht, indem diese dazu beitragen, dass bei Einsatz eines nach dem Soot-Abscheideverfahren hergestellten Kernzylinders im Bereich um die Grenzfläche zwischen erster und zweiter Mantelglasschicht ein OH-Gehalt von maximal 1 Gew.-ppm erhalten wird. Denn erst der geringe OH-Gehalt in diesem grenzflächennahen Bereich erlaubt es, den Außendurchmesser der ersten Mantelglasschicht so zu reduzieren, dass das Durchmesserverhältnis "d_{M1}" / "d_K" zwischen 1 und 2,2 liegt, ohne dass sich der OH-Gehalt im grenzflächennahen Bereich auf die optische Dämpfung der Faser wesentlich auswirkt.

[0018] Somit ermöglicht es das erfindungsgemäße Verfahren, eine optische Faser mit geringer Dämpfung kostengünstig nach dem Soot-Abscheideverfahren herzustellen.

[0019] Die Faser wird zum Beispiel aus einer Kern-Mantelstruktur aufweisenden Vorform gezogen, wobei in der Vorform der Kernzylinder vom Mantelrohr und etwaigem weiteren Mantelmaterial umgeben ist. Es ist aber auch möglich, die Faser aus einer eine Kern-Mantelstruktur bildenden coaxialen Anordnung mehrerer Bauteile zu ziehen. Dabei wird der Kernzylinder innerhalb des Mantelrohr und etwaigem weiteren Mantelmaterial in Rohrform koaxial angeordnet. Das Mantelmaterial inklusive des Mantelrohrs wird während des Faserziehens auf den Kernzylinder kollabiert.

[0020] Die vorliegende Erfindung betrifft ausschließlich die Herstellung von Standard-Single-Mode-Fasern und eine Vorform dafür. Bei den Standard-Single-Mode-Fasern handelt es sich um einfache Stufenindexfasern. Die in den Fasern geführte Lichtwelle erstreckt sich im wesentlichen über den Kernbereich und den inneren Mantelbereich. Die vorliegende Erfindung ermöglicht eine Minimierung des hochwertigen Quarzglases für den inneren Mantelbereich zu Gunsten von preiswerterem Quarzglas. Die Erfindung bezieht sich nicht auf sogenannte "dispersionsverschobene Fasern" oder "dispersionsgeglättete Fasern". Derartige Fasern weisen komplexe Brechzahlprofile mit einer radialen Abfolge mehrerer Schichten unterschiedlicher Brechzahl auf.

20 Alle diese Schichten wirken an der Lichtführung mit, so dass dafür hochwertiges Quarzglas erforderlich ist, das nicht ohne Qualitätsverlust zu Gunsten von preiswerterem Quarzglases minimiert werden kann.

[0021] Der Einfluss des OH-Gehalts auf die optische Dämpfung ist umso geringer, je geringer der OH-Gehalt im oberflächennahen Bereich des Kernzylinders und im Mantelrohr ist. Als besonders günstig hat es sich erwiesen, ein Mantelrohr mit einem mittleren OH-Gehalt von maximal 0,5 Gew.-ppm, und einen Kernzylinder mit einem mittleren OH-Gehalt in einem oberflächennahen Bereich bis zu 10 µm Tiefe von maximal 0,5 Gew.-ppm einzusetzen. Vorzugsweise beträgt der mittlere OH-Gehalt von Mantelrohr und oberflächennahem Bereich des Kernzylinders jeweils maximal 0,2 Gew.-ppm, und besonders bevorzugt jeweils maximal 0,1 Gew.-ppm.

[0022] Erfindungsgemäß wird ein Anteil der aufwendig herstellbaren ersten Mantelglasschicht am Gesamtvolumen der optischen Faser durch preiswerteres Mantelmaterial ersetzt. Der durch das preiswertere Mantelmaterial ersetzte Anteil ist umso größer, je kleiner das Durchmesserverhältnis "d_{M1}" zu "d_K" im Kernzylinder ist. Als besonders günstig hat es sich erwiesen, einen Kernzylinder mit einem Verhältnis von "d_{M1}" zu "d_K" von kleiner als 2,0 und vorzugsweise von kleiner als 1,7 einzusetzen.

[0023] Für die Herstellung der Vorform oder für die eine Kern-Mantelstruktur bildende coaxiale Anordnung von Bauteilen wird entweder ein aus Quarzglas bestehendes Mantelrohr eingesetzt, oder ein aus SiO₂-Soot bestehendes, poröses Mantelrohr. Bei Einsatz eines aus Quarzglas bestehenden Mantelrohrs wird die Ausbildung einer störungsfreien Grenzfläche zwischen erster und zweiter Mantelglasschicht erleichtert, was sich auf die optische Dämpfung der Faser positiv auswirkt. Der Einsatz eines aus SiO₂-Soot bestehenden Mantelrohrs ist demgegenüber kostengünstiger, da das Mantelrohr beim Aufkollabieren auf den Kernzylinder verglast wird, so dass ein separater Heißbehandlungsschritt zum Verglasen des Mantelrohres entfällt.

[0024] Als besonders günstig hat es sich erwiesen, ein Mantelrohr mit einem Brechungsindex "n_{M2}" einzusetzen, wobei "n_{M2}" ≤ "n_{M1}" ist. Bei einem Brechungsindex "n_{M2}" = "n_{M1}" wird die Lichtführung in der Faser durch die zweite Mantelglasschicht nicht merklich beeinflusst, während bei einem Brechungsindex "n_{M2}" < "n_{M1}" der in der zweiten

Mantelglasschicht geführte Lichtanteil weiter reduziert wird, so dass die Anforderungen an die optischen Eigenschaften des Quarzglases für diese Schicht geringer sind. Dadurch wird Herstellung des Quarzglases für die zweite Mantelglasschicht vereinfacht und die Herstellungskosten werden gesenkt.

[0025] Besonders bewährt hat sich ein Einsatz eines Mantelrohrs aus fluordotiertem Quarzglas. Durch eine Fluordotierung kann der Brechungsindex von Quarzglas gesenkt werden, so dass sich mittels eines fluordotierten Mantelrohres die Brechungsindex-Bedingung " $n_{M2} < n_{M1}$ " besonders einfach und preiswert einstellen lässt.

[0026] Vorteilhafterweise wird die zweite Mantelglasschicht vom mindestens einer weiteren, dritten Mantelglasschicht umgeben. Mittels der weiteren Mantelglasschicht oder den weiteren Mantelglasschichten wird zusätzliches Quarzglas zur Ausbildung des Mantels bereitgestellt. Das Ummanteln mit der dritten Mantelglasschicht kann in einer Vorform resultieren, aus der anschließend eine optische Faser gezogen wird, oder die Mantelglasschicht wird in Form eines Quarzglasrohres in einer koaxialen Anordnung mit dem Kernzyliner direkt zu einer Faser gezogen.

[0027] In einer ersten bevorzugten Verfahrensvariante wird die dritte Mantelglasschicht in Form eines Quarzglas-Hohlzyinders bereitgestellt, der zusammen mit dem Mantelrohr auf den Kernzyliner aufkollabiert wird. Die Kosten des Verfahrens werden gesenkt, da hierbei in einem Verfahrensschritt mehrere Rohre gleichzeitig auf den Kernzyliner kollabiert werden.

[0028] In einer alternativen, jedoch gleichermaßen bevorzugten Verfahrensvariante wird die dritte Mantelglasschicht in Form eines Hohlzyinders aus porösem SiO₂-Soot bereitgestellt, der nach dem Aufkollabieren des Mantelrohres auf die den Kernzyliner umschließende, zweite Mantelglasschicht aufgeschrumpft wird. Auch diese Verfahrensvariante hat Vorteile hinsichtlich der Herstellkosten, denn der Hohlzyylinder aus porösem SiO₂-Soot wird beim Aufschrumpfen auf das Mantelrohr gleichzeitig verglast. Für den Teil des Mantels, der in Form eines Hohlzyinders aus SiO₂-Soot bereitgestellt wird, entfällt somit ein separater Verglasungsschritt.

[0029] In einer weiteren, ebenfalls geeigneten Verfahrensvariante wird die dritte Mantelglasschicht nach dem Aufkollabieren des Mantelrohres auf den Kernzyliner durch Außenabscheidung von SiO₂-Soot erzeugt. Die so erzeugte dritte Mantelglasschicht aus SiO₂-Soot wird anschließend verglast. Auch diese Verfahrensvariante hat Kostenvorteile, da die separate Herstellung eines Rohres für die dritte Mantelglasschicht entfallen kann.

[0030] Insbesondere im Hinblick auf geringe Herstellungskosten hat sich auch eine Verfahrensvariante als günstig erwiesen, bei der die zweite und die dritte Mantelglasschicht erzeugt werden, indem ein außen mit porösem SiO₂-Soot beschichtetes Mantelrohr bereitgestellt und auf den Kernzyliner aufkollabiert wird. Hierbei erfolgt das Ummanteln des Kernzyliners mit der zweiten und der dritten Mantelglasschicht in einem gemeinsamen Verfahrensschritt, indem beim Kollabieren gleichzeitig die Schicht aus porösem SiO₂-Soot verglast wird.

[0031] Die dritte und jede weitere Mantelglasschicht hat auf die Lichtführung der Faser keine wesentlichen Auswirkungen. Daher sind die Anforderungen an die optischen Eigenschaften des Quarzglases für die dritte Mantelglasschicht vergleichsweise gering. Das dafür benötigte Quarzglas ist daher besonders kostengünstig herstellbar. Aus diesem Grunde wird die zweite Mantelglasschicht so dünn wie möglich, jedoch so dick wie nötig ausgeführt. Im Hinblick hierauf hat es sich als günstig erweisen, ein Mantelrohr ein-

zusetzen, derart, dass die daraus nach dem Aufkollabieren erhaltene Mantelglasschicht ein Verhältnis von Außen-durchmesser zu Innendurchmesser von mindestens 1,2 und vorzugsweise von mindestens 1,8 aufweist, wobei das Verhältnis von Außendurchmesser zu Innendurchmesser der Mantelglasschicht vorteilhafterweise bei weniger als 3 liegt.

5 Das Verhältnis von Außendurchmesser zu Innendurchmesser der Mantelglasschicht bezieht sich auf einen Kernzyliner ohne Innenbohrung. Bei einem rohrförmigen Kernzyliner sind für die Ermittlung des genannten Durchmesserverhältnisses der Außendurchmesser und der Innendurchmesser der Mantelglasschicht nach dem Kollabieren der Innenbohrung maßgebend.

[0032] Vorzugsweise werden der Außendurchmesser des Kernzyliners und der Innendurchmesser des Mantelrohres so gewählt, dass das Aufkollabieren eine coaxiale Anordnung von Mantelrohr und Kernzyliner unter Bildung eines Ringspalt umfasst, wobei während des Aufkollabierens wasserstoffhaltige Substanzen im Ringspalt vermieden werden. Durch den Ausschluss wasserstoffhaltiger Substanzen im Ringspalt wird die Bildung von Hydroxylgruppen in den an den Ringspalt angrenzenden Wandungen vermieden. Dies wird vorzugsweise dadurch erreicht, dass im Ringspalt ein Unterdruck erzeugt wird und/oder der Ringspalt Helium, Chlor, Fluor oder ein Gemisch dieser Gase enthält. Dies erfolgt vorzugsweise durch kontinuierliches Spülen des Ringspalts mit den genannten Gasen oder Gasgemischen.

[0033] Es wird eine Verfahrensvariante des erfundungsgemäßen Verfahrens bevorzugt, bei der der Kernzyliner nach dem Außenabscheideverfahren (OVD) hergestellt wird.

[0034] Durch das OVD-Verfahren ist ein Kernzyliner mit kleinem Durchmesserverhältnis " d_{M1}/d_K " besonders einfach und kostengünstig herstellbar.

[0035] Hinsichtlich der Vorform wird die oben angegebene Aufgabe ausgehend von der eingangs beschriebenen Vorform erfundungsgemäß dadurch gelöst, dass die zweite Mantelglasschicht in Form eines in einem separaten Verfahrensschritt erzeugten und auf die erste Mantelglasschicht aufkollabierte Mantelrohrs mit einem mittleren OH-Gehalt von maximal 1 Gew.-ppm ausgebildet ist, wobei in einem grenzflächennahen Bereich zwischen der ersten Mantelglasschicht und der zweiten Mantelglasschicht mit einer radialen Ausdehnung von 10 µm in Richtung der Kernglasschicht ein mittlerer OH-Gehalt von maximal 1 Gew.-ppm vorliegt, und wobei das Verhältnis von " d_{M1} " zu " d_K " größer als 1 und kleiner als 2,2 ist.

[0036] Erfundungsgemäß ist die zweite Mantelglasschicht in Form eines in einem separaten Verfahrensschritt erzeugten auf die erste Mantelglasschicht aufkollabierte Mantelrohrs ausgebildet. Ein derartiges Mantelrohr ist nach den üblichen OVD-Sootabscheideverfahren durch Flammenhydrolyse einer siliziumhaltigen Ausgangsverbindung kostengünstig herstellbar, wobei sich der OH-Gehalt des porösen Soot-Mantelrohrs durch die bekannten Dehydratisationsverfahren reduzieren und auf einen vorgegebenen Wert von 1 Gew.-ppm oder weniger einstellen lässt. Hinsichtlich der Definitionen des "mittleren OH-Gehalts" wird auf die obigen Ausführungen zum erfundungsgemäßen Verfahren verwiesen.

[0037] Da die zweite Mantelglasschicht durch Aufkollabieren des Mantelrohres erzeugt ist, wird der Einbau von Hydroxylgruppen im Quarzglas der ersten Mantelglasschicht weitgehend vermieden. Daher weist die erste Mantelglasschicht im Bereich ihrer Grenzfläche zur zweiten Mantelglasschicht einen geringen Gehalt an Hydroxylgruppen auf. Unter einem grenzflächennahen Bereich der ersten Mantelglasschicht wird dabei ein Bereich mit einer radialen Ausdehnung von 10 µm in Richtung der Kernglasschicht verstanden. Der mittlere OH-Gehalt im grenzflächennahen

Bereich lässt sich spektroskopisch durch eine Differenzmessung ermitteln.

[0038] Zur Lösung der oben genannten technischen Aufgabe trägt wesentlich bei, dass das Durchmesserverhältnis " d_{M1}/d_K " zwischen 1 und 2,2 liegt. Der Außendurchmesser der ersten Mantelglasschicht " d_{M1} " beträgt somit weniger als das 2,2-fache des Durchmessers der Kernglasschicht. Im Vergleich zu der eingangs beschriebenen, bekannten Vorform ist somit der Volumanteil der aufwendig herzustellenden ersten Mantelglasschicht zu Gunsten des übrigen, weitaus kostengünstiger herstellbaren Mantelmaterials reduziert. Diese Reduzierung der ersten Mantelglasschicht wird dadurch ermöglicht, dass im Bereich der Grenzfläche zwischen erster und zweiter Mantelglasschicht ein OH-Gehalt von weniger als 1 Gew.-ppm erhalten wird. Denn erst der geringe OH-Gehalt im Bereich dieser Kontaktfläche erlaubt es, den Außendurchmesser der ersten Mantelglasschicht so zu reduzieren, dass das Durchmesserverhältnis " d_{M1}/d_K " zwischen 1 und 2,2 liegt, ohne dass sich der OH-Gehalt im Bereich um die Kontaktfläche auf die optische Dämpfung der Faser wesentlich auswirkt.

[0039] Somit ist die erfundungsgemäße Vorform kostengünstig nach dem Soot-Abscheideverfahren herstellbar.

[0040] Vorteilhafte Weiterbildungen der erfundungsgemäßen Vorform ergeben sich aus den Unteransprüchen. Die Unteransprüche korrespondieren mit oben bereits erläuterten Verfahrensansprüchen, so dass insoweit auf diese Erläuterungen verwiesen wird.

[0041] Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und einer Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigen in schematische Darstellung im einzelnen:

[0042] Fig. 1 eine Ausführungsform einer erfundungsgemäßen Vorform zur Herstellung einer Single-Mode-Faser in einem radialen Schnitt,

[0043] Fig. 2 ein Ausführungsbeispiel zur Herstellung einer erfundungsgemäßen Vorform anhand eines Fließdiagramms mit einzelnen Verfahrensschritten,

[0044] Fig. 3 einen typischen Verlauf der OH-Konzentration über den Durchmesser bei einer nach dem Stand der Technik hergestellten Vorform in einem Ausschnitt, und

[0045] Fig. 4 einen typischen Verlauf der OH-Konzentration über den Durchmesser einer erfundungsgemäßen Vorform in einem Ausschnitt.

[0046] In Fig. 1 ist die Bezugsziffer 1 insgesamt einer erfundungsgemäßen Vorform zugeordnet. Die Vorform 1 besteht aus einer Kernglaszone 2, einer ersten Mantelglasschicht 3, einer zweiten Mantelglasschicht 4 und einer dritten Mantelglasschicht 5.

[0047] Die Kernglaszone 2 besteht aus Quarzglas, das homogen mit 5 Gew.-% Germaniumdioxid dotiert ist. Der Durchmesser " d_K " der Kernglaszone 2 beträgt 7 mm. Die erste Mantelglasschicht 3 hat einen Außendurchmesser " d_{M1} " von 13,9 mm. Das Verhältnis der Durchmesser " d_{M1}/d_K " beträgt somit 1,99.

[0048] Zur Herstellung der Vorform 1 werden die Kernglaszone 2 und erste Mantelglasschicht 3 als Kernstab bereitgestellt, auf den die zweite Mantelglasschicht 4 in Form eines Mantelrohrs aufkollabiert wird. Die zweite Mantelglasschicht 4 besteht aus undotiertem Quarzglas. Sie hat im Ausführungsbeispiel einen Außendurchmesser von 26,8 mm. Das Verhältnis von Außendurchmesser und Innendurchmesser liegt somit in der Mantelglasschicht 4 bei 1,9. Im ursprünglichen Mantelrohr, aus dem die zweite Mantelglasschicht 4 hergestellt ist, liegt dieses Verhältnis – in Abhängigkeit von der Spaltweite zwischen Mantelrohr und Kernstab vor dem Aufkollabieren – etwas niedriger.

[0049] Die zweite Mantelglasschicht 4 wird von einem so-

genannten Jacketrohr überfangen, das den größten Volumanteil der Vorform 1 in Form der weiteren, dritten Mantelglasschicht 5 bildet.

[0050] Nachfolgend wird anhand den Fig. 1 und 2 das erfundungsgemäße Verfahren zur Herstellung einer optischen Faser beispielhaft erläutert.

[0051] Zur Durchführung des erfundungsgemäßen Verfahrens wird zunächst ein sogenannter Kernstab mittels eines Soot-Abscheideverfahrens (OVD-Verfahren) durch Flammenhydrolyse von $SiCl_4$ und/oder $GeCl_4$ gebildet, wobei entsprechende Oxidpartikel auf der Mantelfläche eines um seine Längsachse rotierenden Dorns abgeschieden werden. Als Dorn wird ein Aluminiumoxid-Rohr mit einem Durchmesser von 5 mm eingesetzt. Mittels eines Abscheidebrenners wird zunächst die Kernglaszone 2 abgeschieden, indem dem Abscheidebrenner außer $SiCl_4$ auch $GeCl_4$ zugeführt wird, um die oben angegebene Dotierstoff-Konzentration der Kernglaszone 2 zu erhalten. Anschließend wird die Zufuhr von $GeCl_4$ gestoppt und auf der Kernglaszone 2 nach dem gleichen Verfahren die erste Mantelglasschicht 3 abgeschieden. Das nach Entfernen des Dorns erhaltene, poröse Quarzglasrohr wird in chlorhaltiger Atmosphäre getrocknet, anschließend gesintert und zu dem Kernstab kollabiert, wobei das Verhältnis der Durchmesser " d_{M1}/d_K " = 1,99 erhalten wird. Der Kernstab weist einen über seinen radialen Querschnitt homogenen OH-Gehalt von 0,004 Gew.-ppm auf. Die Herstellung des Kernstabs erfordert große Sorgfalt hinsichtlich Reinheit und Homogenität der abgeschiedenen Schichten und ist dementsprechend aufwendig und teuer.

[0052] Parallel dazu wird ein Mantelrohr ebenfalls durch Flammenhydrolyse von $SiCl_4$ unter Bildung von SiO_2 -Partikeln und axialer Abscheidung der SiO_2 -Partikel auf einem rotierenden Dorn hergestellt. Da das Mantelrohr zur Lichtführung in der aus der Vorform erhaltenen Faser nicht mehr wesentlich beiträgt, sind die Anforderungen an dessen Reinheit und Homogenität vergleichsweise gering. Das Mantelrohr ist daher kostengünstig unter gleichzeitigem Einsatz mehrerer Abscheidebrenner herstellbar. Vor dem Sintern wird das aus undotiertem, porösen Quarzglas bestehende Mantelrohr in chlorhaltiger Atmosphäre getrocknet. Nach dem Sintern hat das Mantelrohr einen Innendurchmesser von etwa 15 mm und einen Außendurchmesser von etwa 27 mm und einen mittleren, über die Wandstärke des Mantelrohrs homogenen OH-Gehalt von 0,05 Gew.-ppm.

[0053] Ein wesentlicher Verfahrensschritt des erfundungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass das Mantelrohr auf den Kernstab aufkollabiert wird. Hierzu wird der Kernstab koaxial innerhalb des Mantelrohrs angeordnet. In chlorhaltiger Atmosphäre bei einer Temperatur von etwa 1000°C werden die den Ringspalt zwischen Kernstab und Mantelrohr begrenzenden Oberflächen gereinigt und dehydratisiert. Im Anschluß daran wird das Mantelrohr auf den Kernstab aufgeschmolzen, indem die Anordnung in einem elektrisch beheizten Ofen auf eine Temperatur von 2150°C (Ofentemperatur) erhitzt wird. Das Schließen des Ringspalts erfolgt problemlos durch zonenweises Erhitzen der vertikal orientierten Anordnung. Nach dem Aufkollabieren bildet das Mantelrohr die zweite Mantelglasschicht 4. Die Grenzfläche zwischen erster Mantelglasschicht 3 und zweiter Mantelglasschicht 4 ist mit bloßem Auge kaum zu erkennen. An dieser Grenzfläche wird keine nennenswerte Erhöhung des OH-Gehalts über 0,1 Gew.-ppm hinaus festgestellt.

[0054] Der so erhaltene Quarzglasstab stellt in der späteren Lichtleitfaser den Faserkern und den zur Lichtführung beitragenden Mantel (das sogenannt "optische Cladding"). Er beinhaltet die homogen mit Germaniumdioxid dotierte Kernglaszone 2 mit einem Außendurchmesser von 7 mm und mit einem Brechungsindex " n_K ", der um ca. 0,005 über

dem Brechungsindex von undotiertem Quarzglas liegt. Die Kernglaszone **2** ist von einem Mantel aus undotiertem Quarzglas mit einem Brechungsindex " n_{M1} " von typischerweise 1,4585 umgeben. Der Mantel wird von der ersten Mantelglasschicht **3** und von der zweiten Mantelglasschicht **4**, die den weitaus größten Volumenanteil des Mantels ausmacht, gebildet.

[0055] Zur Fertigstellung der Vorform wird der so erhaltene Quarzglasstab mit einem Überfangrohr aus undotiertem Quarzglas (dem sogenannten "Jacket-Rohr") überlangen, das die dritte Mantelglasschicht **5** bildet. Die Vorform weist danach einen Außendurchmesser von 100 mm auf. Die daraus gezogene Faser zeigt bei einer Wellenlänge von 1385 nm eine Dämpfung von 0,6 dB/km.

[0056] Fig. 4 zeigt schematisch einen typischen Verlauf der OH-Konzentration über den Durchmesser bei einer Vorform gemäß der Erfindung. Zum Vergleich ist der Verlauf der OH-Konzentration gemäß Fig. 3 als punktierte Linie eingezzeichnet.

[0057] Auf der y-Achse des Diagramms ist der OH-Gehalt und auf der x-Achse der Vorformdurchmesser aufgetragen. Kernglasschicht **41** erste Mantelglasschicht **42** zeigen einen gleichermaßen geringen OH-Gehalt; dieser beträgt gemäß obigem Ausführungsbeispiel 0,004 Gew.-ppm. Die zweite Mantelglasschicht **43** hat einen etwas höheren OH-Gehalt (0,05 Gew.-ppm), so dass die Grenzfläche **45** zwischen der ersten Mantelglasschicht **42** und der zweiten Mantelglasschicht **43** lediglich als kleine Stufe **44** im Verlauf der OH-Konzentration erkennbar ist. Ein ausgeprägtes Maximum der OH-Konzentration, wie es die nach dem Stand der Technik hergestellte Vorform (und damit auch die daraus erhaltene Faser) zeigt, ist bei der erfundungsgemäßen Vorform nicht vorhanden. Dadurch kann die Grenzfläche **45** nahe an der Kernglasschicht **41** liegen, ohne dass sich dies auf die optische Dämpfung der aus der Vorform erhaltenen Faser nachteilig auswirkt. Mit anderen Worten, der Außendurchmesser " d_{M1} " der ersten Mantelglasschicht **42** ist im Vergleich zu der Vorform gemäß Fig. 3 relativ klein; bei der Vorform gemäß Fig. 4 beträgt der Außendurchmessers " d_{M1} " der ersten Mantelglasschicht **42** lediglich das 1,99-fache des Durchmessers " d_K " der Kernglasschicht **41**. Es ist daher möglich, den Anteil der aufwendig herzustellenden, inneren Mantelglasschicht **42** an der Vorform ohne Inkaufnahme einer höheren optischen Dämpfung zu verringern.

[0058] Näheres zu den im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung relevanten Verfahren und Vorrichtungen für die Herstellung von synthetischem Quarzglas für optische Fasern durch CVD-Abscheidung sind aus folgenden Druckschriften zu entnehmen: In der US-A 5,788,730 wird ein Verfahren und ein Abscheidebrenner aus Quarzglas mit einer Mitteldüse und mindestens drei Ringspaltdüsen für die Herstellung eines Sootkörpers mit homogener radialer Dichteverteilung beschrieben; in der DE-A1 197 25 955 wird der Einsatz eines Brenners für eine Einspeisung von flüssigem Glasausgangsmaterial gelehrt; und in der DE-A1 195 01 733 wird eine Vorrichtung für die gleichzeitige und gleichmäßige Gasversorgung einer Vielzahl von Abscheidebrennern unter Einsatz eines Druckausgleichsgefäßes offenbart. Zur Steigerung der Effizienz der Soot-Abscheidung wird in der DE-A1 196 29 170 vorgeschlagen, ein elektrostatisches Feld zwischen Abscheidebrenner und Sootkörper anzulegen; in der DE-A1 196 28 958 und in der DE-A1 198 27 945 werden Maßnahmen für die Homogenisierung der Soot-Abscheidung bei Einsatz eines oszillierend bewegten Brenner-Arrays angegeben. Aus der DE-A1 197 51 919 und der DE-A1 196 49 935 sind Verfahren und Vorrichtungen zur Handhabung des Sootkörpers während und nach dem Abscheideprozess bekannt; und aus US-

A 5,665,132, US-A 5,738,702 und DE-A1 197 36 949 ergeben sich Maßnahmen für die Halterung des Sootkörpers beim Verglasen. Die Dotierung von Quarzglas mit Fluor und Bor wird in der EP-A 582 070 beschrieben; in der US-A 5,790,736 wird eine Lehre zur Anpassung der Viskosität von Kern- und Mantelmaterial einer Faser gegeben; und in der DE 198 52 704 geht es um ein Verfahren zur Herstellung einer optischen Faser unter Einsatz dotierter Substratrohre nach dem MCVD-Verfahren. Die Nachbearbeitung eines verglasten Quarzglas-Hohlzylinders unter Einsatz eines speziellen Bohrs ist in der US-A 5,643,069 beschrieben. Die US-A 5,785,729 gibt eine Lehre zur Herstellung großvolumiger Vorformen unter Einsatz der Stab-in-Rohr-Technik; und die DE-A1 199 15 509 beschreibt einen zur Durchführung dieser Technik geeigneten Abzug. Gegenstand von EP-A1 767 149 und DE-A1 196 29 169 ist die Herstellung maßgenauer Quarzglas-Rohre durch ein Vertikalziehverfahren.

Patentansprüche

1. Verfahren für die Herstellung einer optischen Faser durch Ziehen aus einer eine Kern-Mantelstruktur aufweisenden Vorform oder aus einer eine Kern-Mantelstruktur bildenden koaxialen Anordnung mehrerer Bauteile, durch Erzeugen eines Kernzyliners in einem Soot-Abscheideverfahren, wobei der Kernzyliner eine Kernglasschicht mit einem höheren Brechungsindex " n_K " und einem Außendurchmesser " d_K " aufweist, die von einer ersten Mantelglasschicht mit einem niedrigeren Brechungsindex " n_{M1} " und einem Außendurchmesser " d_{M1} " umgeben ist, und Aufbringen einer zweiten Mantelglasschicht auf den Kernzyliner, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Mantelglasschicht (**4**) in Form eines in einem separaten Verfahrensschritt erzeugten Mantelrohres bereitgestellt wird, das einen mittleren OH-Gehalt von maximal 1 Gew.-ppm aufweist, wobei das Aufbringen der zweiten Mantelglasschicht (**4**) durch Aufkollabieren des Mantelrohres auf den Kernzyliner (**2; 3**) erfolgt, und dass ein Kernzyliner (**2; 3**) eingesetzt wird, bei dem das Verhältnis von " d_{M1} " zu " d_K " zwischen 1 und 2,2 liegt, und der in einem oberflächennahen Bereich bis zu 10 µm Tiefe einen mittleren OH-Gehalt von maximal 1 Gew.-ppm aufweist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Mantelrohr mit einem mittleren OH-Gehalt von maximal Gew.-0,5 Gew.-ppm und ein Kernzyliner (**2; 3**) mit einem mittleren OH-Gehalt in einem oberflächennahen Bereich bis zu 10 µm Tiefe von maximal 0,5 Gew.-ppm eingesetzt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Mantelrohr mit einem mittleren OH-Gehalt von maximal Gew.-0,2 Gew.-ppm und ein Kernzyliner (**2; 3**) mit einem mittleren OH-Gehalt in einem oberflächennahen Bereich bis zu 10 µm Tiefe von maximal 0,2 Gew.-ppm eingesetzt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Mantelrohr mit einem mittleren OH-Gehalt von maximal Gew.-0,1 Gew.-ppm und ein Kernzyliner (**2; 3**) mit einem mittleren OH-Gehalt in einem oberflächennahen Bereich bis zu 10 µm Tiefe von maximal 0,1 Gew.-ppm eingesetzt werden.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Kernzyliner (**2; 3**) eingesetzt wird, bei dem das Verhältnis von " d_{M1} " zu " d_K " kleiner als 2,0 ist.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

che, dadurch gekennzeichnet, dass ein Kernzylinder (2; 3) eingesetzt wird, bei dem das Verhältnis von "d_{M1}" zu "d_K" kleiner als 1,7 ist.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein aus Quarzglas bestehendes Mantelrohr eingesetzt wird. 5

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass ein aus SiO₂-Soot bestehendes Mantelrohr eingesetzt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Mantelrohr eingesetzt wird, mit einem Brechungsindex "n_{M2}", wobei "n_{M2}" ≤ "n_{M1}" ist. 10

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Mantelrohr aus fluordotiertem Quarzglas eingesetzt wird. 15

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Mantelglasschicht (4) von mindestens einer weiteren, dritten Mantelglasschicht (5) umgeben wird. 20

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die dritte Mantelglasschicht (5) in Form eines Quarzglas-Hohlzylinders bereitgestellt wird, der zusammen mit dem Mantelrohr auf den Kernzylinder (2; 3) aufkollabiert wird. 25

13. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die dritte Mantelglasschicht (5) in Form eines Hohlzylinders aus porösem SiO₂-Soot bereitgestellt wird, der nach dem Aufkollabieren auf die den Kernzylinder (2; 3) umschließende, zweite Mantelglasschicht (4) aufgeschrumpft wird. 30

14. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die dritte Mantelglasschicht (5) nach dem Aufkollabieren des Mantelrohrs auf den Kernzylinder (2; 3) durch Außenabscheidung von SiO₂-Soot erzeugt wird. 35

15. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite und die dritte Mantelglasschicht (5) erzeugt werden, indem ein außen mit porösem SiO₂-Soot beschichtetes Mantelrohr bereitgestellt 40 und auf den Kernzylinder (2; 3) aufkollabiert wird.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine zweite Mantelglasschicht (4) mit einem Verhältnis von Außendurchmesser zu Innendurchmesser im Bereich zwischen 1,2 und 3 erzeugt wird. 45

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass eine zweite Mantelglasschicht (4) mit einem Verhältnis von Außendurchmesser zu Innendurchmesser von mindestens 1,8 erzeugt wird. 50

18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Aufkollabieren eine koaxiale Anordnung von Mantelrohr und Kernzylinder (2; 3) unter Bildung eines Ringspalt umfasst, und dass während des Aufkollabierens wasserstoffhaltige Substanzen im Ringspalt vermieden werden. 55

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass im Ringspalt ein Unterdruck erzeugt wird und/oder der Ringspalt Helium, Chlor, Fluor oder ein Gemisch dieser Gase enthält. 60

20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Kernzylinder (2; 3) nach dem Außenabscheideverfahren hergestellt wird. 65

21. Vorform für die Herstellung einer optischen Faser, die eine Kernglasschicht mit höherem Brechungsindex "n_K" und mit einem Außendurchmesser "d_K" aufweist,

die koaxial von einer ersten Mantelglasschicht mit niedrigerem Brechungsindex "n_{M1}" und einem Außen-durchmesser "d_{M1}" sowie von einer zweiten Mantelglasschicht umgeben ist, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Mantelglasschicht (4) in Form eines in einem separaten Verfahrensschritt erzeugten und auf die erste Mantelglasschicht (3) aufkollabierten Mantelrohrs mit einem mittleren OH-Gehalt von maximal 1 Gew.-ppm ausgebildet ist, wobei in einem grenzflächennahen Bereich zwischen der ersten Mantelglasschicht (3) und der zweiten Mantelglasschicht (4) mit einer radialen Ausdehnung von 10 µm in Richtung der Kernglasschicht (2) ein mittlerer OH-Gehalt von maximal 1 Gew.-ppm vorliegt, und wobei das Verhältnis von "d_{M1}" zu "d_K" größer als 1 und kleiner als 2,2 ist.

22. Vorform nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass in einem Bereich bis zu 10 µm Tiefe beiderseits der Grenzfläche zwischen erster Mantelglasschicht (3) und zweiter Mantelglasschicht (4) der mittlere OH-Gehalt maximal 0,5 Gew.-ppm beträgt.

23. Vorform nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass in einem Bereich bis zu 10 µm Tiefe beiderseits der Grenzfläche zwischen erster Mantelglasschicht (3) und zweiter Mantelglasschicht (4) der mittlere OH-Gehalt maximal 0,2 Gew.-ppm beträgt.

24. Vorform nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass in einem Bereich bis zu 10 µm Tiefe beiderseits der Grenzfläche zwischen erster Mantelglasschicht (3) und zweiter Mantelglasschicht (4) der mittlere OH-Gehalt maximal 0,1 Gew.-ppm beträgt.

25. Vorform nach einem der Ansprüche 21 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis von "d_{M1}" zu "d_K" kleiner als 2 ist.

26. Vorform nach einem der Ansprüche 21 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis von "d_{M1}" zu "d_K" kleiner als 1,7 ist.

27. Vorform nach einem der Ansprüche 21 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Mantelglasschicht (4) einen Brechungsindex "n_{M2}" aufweist, wobei "n_{M2}" ≤ "n_{M1}" ist.

28. Vorform nach einem der Ansprüche 21 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Mantelglasschicht (4) aus fluordotiertem Quarzglas besteht.

29. Vorform nach einem der Ansprüche 21 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Mantelglasschicht (4) ein Verhältnis von Außendurchmesser zu Innendurchmesser im Bereich von 1,2 bis 3 aufweist.

30. Vorform nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Mantelglasschicht (4) ein Verhältnis von Außendurchmesser zu Innendurchmesser von mindestens 1,8 aufweist.

31. Vorform nach einem der Ansprüche 21 bis 30, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Mantelglasschicht (4) von mindestens einer weiteren, dritten Mantelglasschicht (5) umgeben ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

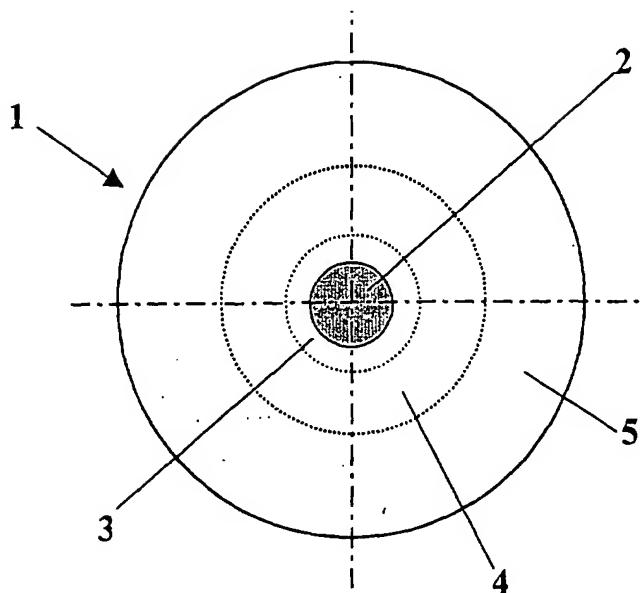


Fig. 1

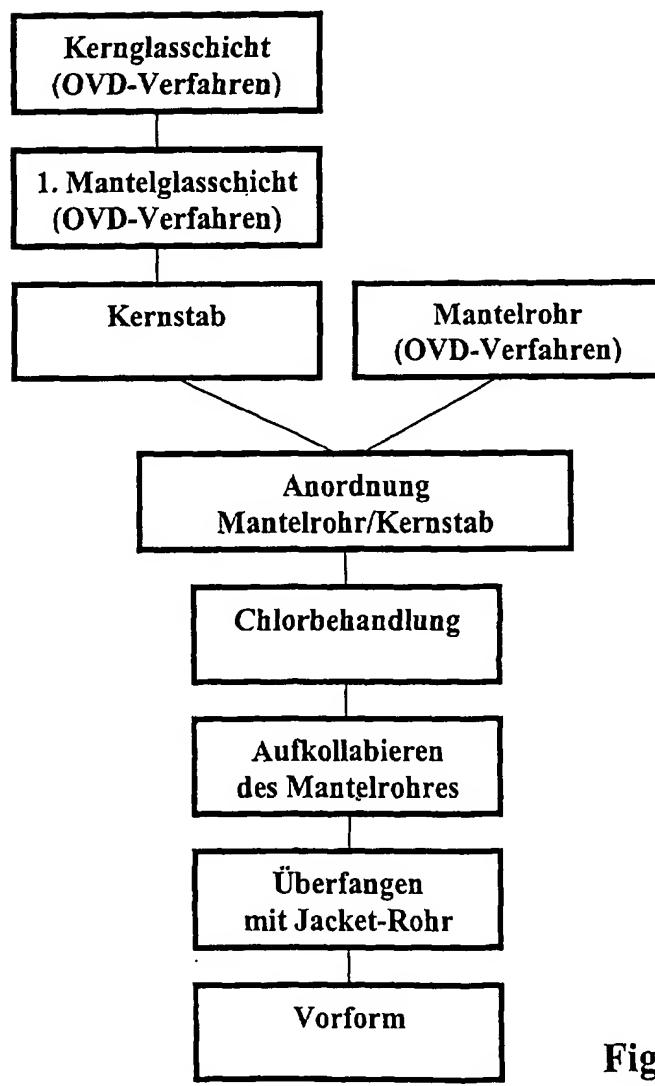


Fig. 2

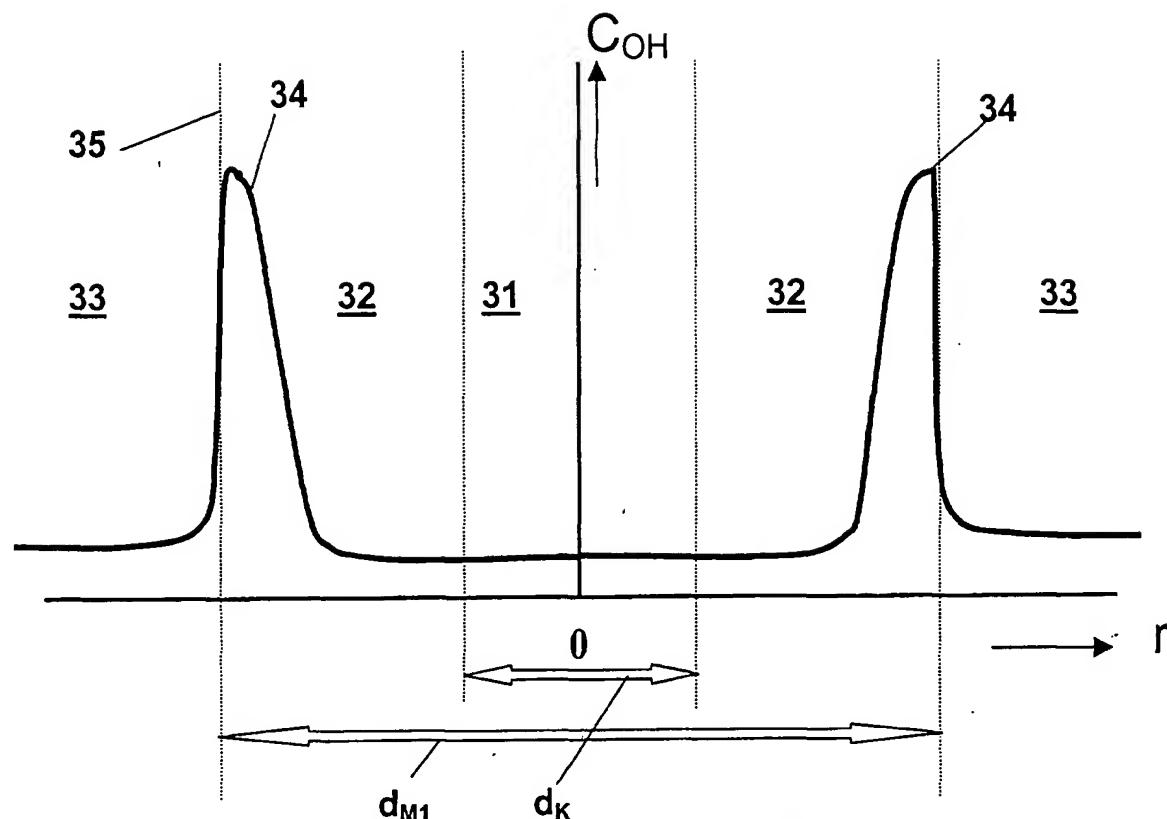


Fig. 3
(Stand der Technik)

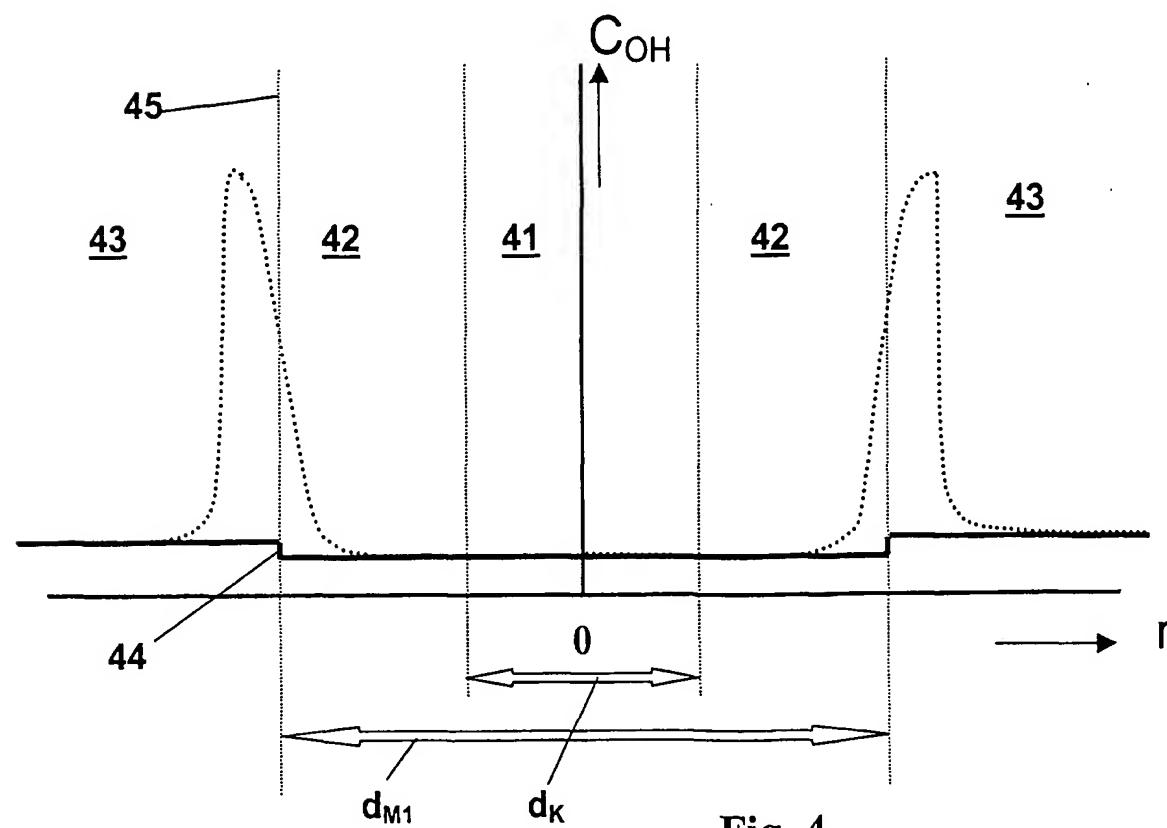


Fig. 4

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record.**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.